

# 船舶碰撞危险度评判模型

严庆新

(武汉理工大学航运学院 武汉 430062)

摘要: 应用模糊数学综合评判理论,把目标船的距离、相对方位、最近会遇距离、至最近点时间、船速比、碰角等 6 个基本参数作为碰撞危险度的评判参数,建立起新的数学模型,提出了一种新的船舶碰撞危险度的评判方法。  
关键词: 模糊数学综合评判理论;船舶碰撞危险度;评判模型  
中图法分类号: U 675. 96

## 0 引言

碰撞危险的确定依据诸多因素,最基本的莫过于最近会遇距离(DCPA)至最接近点时间(TCPA)两个因素。因此,目前船舶所装载的自动雷达标绘仪(ARPA),在判断目标船是否存在碰撞危险时,主要根据目标船的DCPA、TCPA两个参数值的大小来判断。TCPA的大小又与两船所构成的会遇局面、相对速度、两船间初始距离 3 个因素相关,在海上船舶实际避让中,特别是能见度良好环境中,海员判断碰撞危险更注重 DCPA 及两船间初始距离两大要素<sup>[1,2]</sup>。为了更确切地评判碰撞危险,国内学者把模糊数学综合评判理论应用于船舶避碰中,以 DCPA、TCPA 对碰撞危险的隶属函数表达碰撞危险度<sup>[3,4]</sup>。但是,在实际避让中仅凭目标船的 DCPA、TCPA 两个参数的大小来判断目标船有无碰撞危险,是不够充分的。从碰撞几何原理分析,判断目标船是否与本船构成碰撞危险,则应考虑距离(D)、相对方位(B)、DCPA、TCPA、船速比 K (目标船船速与本船船速之比)、碰角(θ)等因素<sup>[1,5]</sup>。因此,文中拟综合考虑评判目标船碰撞危险的 6 个基本参数,即距离、相对方位、DCPA、TCPA、船速比、碰角,运用模糊数学综合评判理论<sup>[6]</sup>,建立新的数学模型来评判船舶碰撞危险度,以期达到更好的效果。

## 1 船舶碰撞危险度模型的建立<sup>[6]</sup>

已知目标船参数:  $D, B, DCPA, TCPA, K, \theta$ 。分别记为  $D, B, C, T, K, \theta$ 。  
由目标船各参数构成目标船因素集  
 $\overline{U} = \{D, B, C, T, K, \theta\}$   
目标船评语集  
 $V = \{r_1, r_2\}$   
式中:  $r_1$  为目标船危险;  $r_2$  为目标船安全。  
目标船各参数的权重分配为  
 $A = (a^D \ a^B \ a^C \ a^T \ a^K \ a^\theta)$   
式中:  $a^D > 0, a^B > 0, a^C > 0, a^T > 0, a^K > 0, a^\theta > 0, a^D + a^B + a^C + a^T + a^K + a^\theta = 1$ 。  
目标船各参数的权重分配应根据目标船各参数  $D, B, C, T, K, \theta$  对本船造成危险的作用大小来确定。DCPA 是判断碰撞危险最重要的参数,其次是 D 或 TCPA,这两个参数都是表征避碰行动是否遵循避碰规则“及早采取”,或海员在实际行动中客观上对“及早采取”的定量反映。但 TCPA 考虑该两船接近的相对速度,在相对速度较小情况下的两船追越,或大角度交叉相遇,仅用 TCPA 来决定避碰行动的时机,便可能产生违背避碰规则“及早采取”的规定。因此,判断碰撞危险应同时考虑 TCPA 和 D。  
目标船各参数的权重分配可取:  $a^C = 0.4, a^T$

① 收稿日期: 2001- 08- 29

$= 0.2, a_D = 0.1, a_B = 0.1, a_K = 0.1, a_\theta = 0.1.$

目标船评判矩阵为

$$R = \begin{pmatrix} r_D & 1 - r_D \\ r_B & 1 - r_B \\ r_C & 1 - r_C \\ r_T & 1 - r_T \\ r_K & 1 - r_K \\ r_\theta & 1 - r_\theta \end{pmatrix}$$

式中:  $r_D, r_B, r_C, r_T, r_K, r_\theta$  为目标船各参数的危险隶属度,即目标船各参数对本船构成危险的特征函数,且  $0 \leq r_D \leq 1, 0 \leq r_B \leq 1, 0 \leq r_C \leq 1, 0 \leq r_T \leq 1, 0 \leq r_K \leq 1, 0 \leq r_\theta \leq 1.$

目标船综合评判结果为  $E = A^\circ R$

故得:  $E = [a_D r_D + a_B r_B + a_C r_C + a_T r_T + a_K r_K + a_\theta r_\theta, 1 - (a_D r_D + a_B r_B + a_C r_C + a_T r_T + a_K r_K + a_\theta r_\theta)]$

由上述条件可知

$a_D r_D + a_B r_B + a_C r_C + a_T r_T + a_K r_K + a_\theta r_\theta \leq 1$

$E$  满足归一化条件,  $E$  中第 1 评语为“目标船危险”的评判结果,即目标船碰撞危险度;第 2 评语为目标船安全度,因此目标船碰撞危险度( $CR$ )为

$CR = a_D r_D + a_B r_B + a_C r_C + a_T r_T + a_K r_K + a_\theta r_\theta$

由上式可见目标船的碰撞危险度为目标船各参数  $D, B, DCPA, TCPA, K, \theta$  对本船的危险隶属度  $r_D, r_B, r_C, r_T, r_K, r_\theta$  的加权之和. 目标船碰撞危险度取值范围为  $CR \in [0, 1]$

在多目标船情况下,分别计算各目标船的碰撞危险度,经比较来确定目标船的危险等级.碰撞危险度的值越大则越危险,若碰撞危险度达到一定值则报警.

2 目标船各参数的危险隶属度

模糊集合是用隶属度函数描述的,隶属度函数是模糊集合论的基础,因而如何确定隶属度函数是一个关键问题.确定隶属度函数的方法带有主观因素,但主观的反映和客观的存在是有一定联系的,是受客观制约的.隶属度函数实质上反映的是事物的渐变性,它遵守一些基本原则<sup>[5]</sup>.从船舶危险度的评判表达式表明,在目标船各参数的加权值确定的情况下,隶属度函数描述的准确性,直接影响船舶危险度的可靠性.

2.1 DCPA 的危险隶属度函数  $r_C$

DCPA 对本船造成的危险程度很明显,该值

越大,危险程度越小. DCPA 的危险隶属度函数  $r_C$  为

$r_C = e^{-\ln 2 (\frac{C}{C_0})^2} \quad (C \geq 0, C_0 > 0 \text{ 为常数})$

式中:  $C_0$  为目标船参数 DCPA 的门限值.  $C_0$  设为最小安全会遇距离  $DCPA_s$ , 则当  $DCPA = DCPA_s$  时,  $r_C$  值为 0.5, 即为安全与危险的界限点.

2.2 TCPA 的危险隶属度函数  $r_T$

TCPA 对本船造成的危险程度同样明显,该值越大,危险程度越小. TCPA 的危险隶属度函数  $r_T$  为

$r_T = e^{-\ln 2 (\frac{T}{T_0})^2} \quad (T \geq 0, T_0 > 0 \text{ 为常数})$

式中:  $T_0$  为目标船参数 TCPA 的门限值.  $T_0$  设为采取避碰行动时最小安全至最接近点时间  $TCPA_s$ , 则当  $TCPA = TCPA_s$  时,  $r_T$  值为 0.5, 即为安全与危险的界限点.

2.3 距离的危险隶属度函数  $r_D$

由避碰统计研究和避碰专著可知<sup>[1,4]</sup>,距离目标船越近,目标船对本船造成的危险程度越大.距离的危险隶属度函数  $r_D$  为

$r_D = e^{-\ln 2 (\frac{D}{D_0})^2} \quad (D \geq 0, D_0 > 0 \text{ 为常数})$

式中:  $D_0$  为目标船参数  $D$  的门限值. 当  $D_0$  设为采取避碰行动时的最小距离  $D_s$  时, 则当  $D = D_s$  时,  $r_D$  值为 0.5, 即为安全与危险的界限点.

2.4 相对方位的危险隶属度函数  $r_B$

动界是英国学者 Davis 等<sup>[1]</sup>在应用船舶领域研究船舶避碰行为时提出的新概念,它是驾驶人员开始采取行动以避免紧迫局面时与他船的距离为基础的超级领域.动界的模型是根据调查数据的统计分析确定的,调查的内容包括: 当本船右舷或左舷有一艘船并与本船构成碰撞危险时,本船采取转向行动时距离和希望达到的新的 DCPA. 确定并经平滑后的动界模型是一个半径为 2.7 n mil 的圆,本船(真船)位置偏离动界圆心(假想船)左下方 1.7 n mile 顺时针方位  $199^\circ$ . 若从来船相对方位对本船所构成碰撞危险的角度理解动界的偏心现象,则表述为: 若不考虑来船方位对本船所构成的危险,则本船应该位于动界的中心. 由于不同方位的来船对本船所构成的危险程度不同,即右舷大于左舷,正横前大于正横后,使得本船感受的碰撞危险(表现为采取行动的距离)在方位  $19^\circ$  时最大,在方位  $199^\circ$  时最小,当来船相对方位  $19^\circ \leq B \leq 199^\circ$  时,对本船所构成的危险程度随相对方位增大而减小,当来船相对方位  $0^\circ \leq B \leq 19^\circ$  及  $199^\circ \leq B \leq 360^\circ$  时,来船对本船所构成的危险

程度随相对方位增大而减小.据此建立来船相对方位的危险隶属度函数  $r_B$  为

$$r_B = \frac{17}{44} [\cos(B_0 - B) + \frac{440}{289} \cos^2(B_0 - B)]$$

( $0^\circ \leq B \leq 360^\circ, 0^\circ \leq B_0 \leq 90^\circ$  为常数)

式中:  $B_0$  为目标船参数  $B$  的门限值.取  $B_0 = 19^\circ$ , 则当  $B = 19^\circ$  时,  $r_B$  值为 1,即最危险的相对方位.

2.5 船速比的危险隶属度函数  $r_K$

从避碰措施的幅度看<sup>[6]</sup>,如在相同的距离上采取措施,并对来船取得相同的  $DCPA$  时,则慢船采取措施的幅度应比快船的大.根据避碰统计研究,也发现采取避碰行动的两船距离,本船为慢船则行动得早;本船为快船则行动得晚.这说明  $K$  值越大,危险程度越大.船速比的危险隶属度函数

$$r_K = \frac{1}{1 + (\frac{K_0}{K})^2} \quad (K \geq 0, K_0 > 0 \text{ 为常数})$$

式中:  $K_0$  为目标船参数  $K$  的门限值,可取  $K_0 = 1$ ,则  $r_K$  值为 0.5,即为安全与危险的界限点.

2.6 碰角的危险隶属度函数  $r_\theta$

根据避碰文献的分析及碰撞几何分析<sup>[1,6]</sup>,在相同舷角及距离情况下,两船会遇碰角大时的避让幅度比避碰角小时的大.从避碰实践中海员的通常做法看,对遇时危险程度大,其次为交叉相遇,再就是追越,因此碰角的危险隶属度函数  $r_\theta$  为

$$r_\theta = \frac{1}{1 + (\frac{180^\circ - \theta}{\theta_0})^2}$$

( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ, 0^\circ \leq \theta_0 \leq 180^\circ$  为常数)

式中:  $\theta_0$  为目标船参数  $\theta$  的门限值.取  $\theta_0$  为  $90^\circ$ , 则当  $\theta = 90^\circ$  时,  $r_\theta$  值为 0.5,即为安全与危险的界限点.

3 结 束 语

应用模糊数学综合评判理论,把目标船的距离、相对方位、最近会遇距离、至最近点时间、船速比、碰角等 6 个参数,作为碰撞危险度的评判参数,提出了一种新的船舶碰撞危险度的评判方法.从实例计算结果表明,所建立的碰撞危险度模型是可行的,能够反映海员对碰撞危险的判断思维过程.

参 考 文 献

- 1 赵劲松,王逢辰,今津隼马.船舶避碰学原理.大连:大连海事大学出版社,1999.1143
- 2 蔡存强.国际海上避碰规则释义.北京:人民交通出版社,1996.169~222
- 3 邱志雄,兰培真.船舶避碰综合决策系统.大连海运学院学报,1992,18(3):247~253
- 4 刘宇宏,陈洪波,郝燕玲.一种基于模糊原理的碰撞危险度模型.中国航海,1998(2):23~29
- 5 严庆新.船舶避碰的定量研究.武汉交通科技大学学报,1997,21(6):688~694
- 6 闻新,周露,李东江,贝超. MATLAB 模糊逻辑工具箱的分析与应用.北京:科技出版社,2001.1~129

A Model for Estimating the Risk Degrees of Collisions

Yan Qingxin

(Navigation College, WUT, Wuhan 430062)

Abstract

With the parameters of distance of the target ship, relative bearing, distance of closest point of approach, time to the closest point of approach, speeds ratio and collision angle, the paper proposes a new way for estimating the risk of collisions by applying the comprehensive estimating method of fuzzy mathematics.

**Key words** comprehensive estimating method of fuzzy mathematics; risk degrees of collisions; estimating model